

## Ćwiczenie 28

### Wyznaczanie współczynnika rozszerzalności liniowej drutu stalowego

Przyrządy pomiarowe:

- Miernik uniwersalny V560, ustawiony na pomiar napięcia – dokładność pomiaru  $\Delta E = 0,01\text{mV}$
- Zegarowy czujnik długości – dokładność pomiaru  $\Delta l = 0,01\text{mm}$

*Uwaga: zaparafowany oryginał zapisów pomiarów – w załączniku.*

napięcie:	zwiększane		zmniejszane	
$U[\text{V}]$	$E[\text{mV}]$	$l[\text{mm}]$	$E[\text{mV}]$	$l[\text{mm}]$
0	0,88	0	—	
40	1,37	0,30	—	
50	1,53	0,47	—	
60	1,76	0,64	—	
70	2,01	0,82	—	
80	2,20	0,93	2,52	0,90
90	2,47	1,08	2,80	1,03
100	2,81	1,32	3,11	1,22
110	3,12	1,53	3,48	1,39
120	3,40	1,73	3,81	1,58
130	3,79	1,94	4,30	1,91
140	4,29	2,23	4,66	2,06
150	4,71	2,47	4,95	2,21
160	4,93	2,62	5,20	2,41
170	5,39	2,83	5,71	2,69
180	5,82	3,07	6,20	2,91
190	6,26	3,21	6,53	3,16
200	6,71	3,44	6,95	3,42
210	7,12	3,67	7,30	3,77
220	7,50	3,89	—	

*Wyniki:*  $\alpha = (1,264 \pm 0,091)10^{-5}\text{K}^{-1}$ .

### Opis teoretyczny

Zjawisko *rozszerzalności cieplnej* jest jednym z najbardziej znanych przejawów cząsteczkowej natury materii. Zmiana długości w zależności od temperatury zadana jest wzorem

$$\Delta L = \alpha L_0 \Delta T$$

gdzie  $L_0$  to długość ciała w temperaturze od której mierzona jest  $\Delta T$ , zaś  $\alpha$  to *współ-*

*czynnik rozszerzalności liniowej* danego materiału. Wzór ten jest liniowym przybliżeniem bardziej skomplikowanych zależności, jednak dla większości materiałów przybliżenie jest dostatecznie bliskie nawet dla dużych  $\Delta T$ .

Można zauważyć, że współczynniki  $\alpha$  oraz  $\gamma$  (rozszerzalności objętościowej, analogiczny wzór  $\Delta V = \gamma V_0 \Delta T$ ,  $\gamma \approx 3\alpha$ ) są większe dla materiałów o budowie regularnej (kryształy, metale – budowa metali jest „krystaliczna”, lecz zamiast anionów i kationów w sieci krystalicznej znajdują się tylko jony dodatnie, związane polem sił chmury elektronów swobodnych) niż dla ciał o budowie nieregularnej (tworzywa sztuczne). Wynika to z natury oddziaływań międzycząsteczkowych w ciałach. Oddziałują one między sobą siłami elektromagnetycznymi (zwanymi *siłami van der Waalsa*), zaś dla każdej cząstki istnieje położenie o minimalnej energii potencjalnej względem pozostałych cząstek. Cząstki – obdarzone energią – drgają wokół tego położenia, zaś z wzrostem energii (czyli podgrzaniem ciała) amplituda drgań się zwiększa, zatem rośnie średnia odległość między cząstkami.

Rozszerzalność cieplna skutkuje takimi zjawiskami jak wietrzenie skał, wyginanie szyn kolejowych, mostów w upalne dni, napinanie i pękanie linii energetycznych w zimie. Dzięki niemu funkcjonuje wiele metod pomiaru temperatury, tj. termometry cieczowe, bimetaliczne (wyginające się w zależności od temperatury płytki dwóch metali o różnych współczynnikach rozszerzalności, spojone na całej powierzchni).

Inne metody to np. ocena barwy żaru lub płomienia (lub analiza widma promieniowania obiektu, zgodnie z *prawem przesunięć Wiena*), *stożki Segera* (ceramiczne kształtki używane w hutnictwie do oceny temperatury na podstawie sposobu, w jaki deformują, topiąc się) oraz gama metod opierających się na zjawiskach termoelektrycznych, czyli m.in. korzystające z termistorów (oporników o parametrach zależnych od temperatury), termometrów diodowych (złącz półprzewodnikowych o zmiennych parametrach) lub termopar.

Termoparę stanowi układ drutów dwóch różnych metali  $A, B$ , taki, że fragment drutu  $A$  spojony jest na końcach z dwoma fragmentami drutu  $B$  połączonymi z woltomierzem. Różnica temperatur  $T$  między spojeniami wywołuje różnicę potencjałów  $E$  mierzoną przez miernik. Każda termopara ma swą charakterystykę, tj. zależność  $E(T)$ . Zjawisko zachodzące w termoparze nazywane jest *efektem Seebecka*, który zapisuje się następująco:

$$E = \int_{T_1}^{T_2} (S_B(T) - S_A(T)) dT$$

gdzie  $S_A, S_B$  to (nieliniowe!) *współczynniki Seebecka* dla metali  $A, B$ . Efekt odwrotny do tego zjawiska (tj. gradient temperatury w metalu, do którego przyłożono napięcie) zwany jest *efektem Peltiera*. Zachodzenie obu wynika ze zjawisk subatomowych.

## Opis doświadczenia

Ciałem, którego rozszerzalność liniową bada się w doświadczeniu, jest drut stalowy o długości  $l_0 = 1,033\text{m}$ , przez który prowadzony jest prąd o regulowanym napięciu, by zgodnie z *regułą Joule’a-Lenza* wydzielano się na nim ciepło. Na drucie znajduje się „ciepłe złącze” termopary miedź-konstantan, drugie – w termosie zawierającym mieszaninę wody z lodem. Rozszerzający się drut napinany jest przez zawieszony w połowie jego długości obciążnik, które poruszają wskazówkę umieszczoną na tle posrebrzanej skali. Z jednego końca drut umocowany jest do dźwigni o przekładni 2:1, której ustawienie reguluje się śrubą regulacyjną tak, by przy ustalonej temperaturze (tj. stabilnym wskazaniu woltomie-

rza, do którego podłączona jest termopara) wskazówka znalazła się w zerze skali. Wtedy na czujniku zegarowym, badającym położenie drugiego końca dźwigni odczytuje się podwojone wydłużenie drutu. Odczytów przyrządów dokonuje się dla zerowego napięcia (tj. temperatury pokojowej) oraz co 10V w przedziale 40 ÷ 220V najpierw zwiększając, później zmniejszając napięcie. (Ostatnich 4 pomiarów nie wykonano.)

## Opracowanie wyników pomiarów

Na podstawie danej w instrukcji ćwiczenia charakterystyki termopary miedź-konstantan (w postaci punktowych zależności  $E(T)$  co  $5^\circ\text{C}$  w zakresie  $0 \div 200^\circ\text{C}$ ) za pomocą zaimplementowanego w programie *MS Excel* narzędzia *Regresja wielomianowa* wyznaczono przybliżoną zależność

$$T[^\circ\text{C}](E[\text{mV}]) = -0,3762E^2 + 24,875E + 0,6662.$$

Poniżej przedstawiono wyprowadzenie danych naniesionych na wykres:

$$\begin{aligned} 1 : U[\text{V}] & \quad 4 : E[\text{mV}] \\ 2 : l[\text{mm}] & \quad 5 : T(E)[^\circ\text{C}] \\ 3 : \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l}{2l_0} & \quad 6 : \Delta T = T - T_0[^\circ\text{C}] \end{aligned}$$

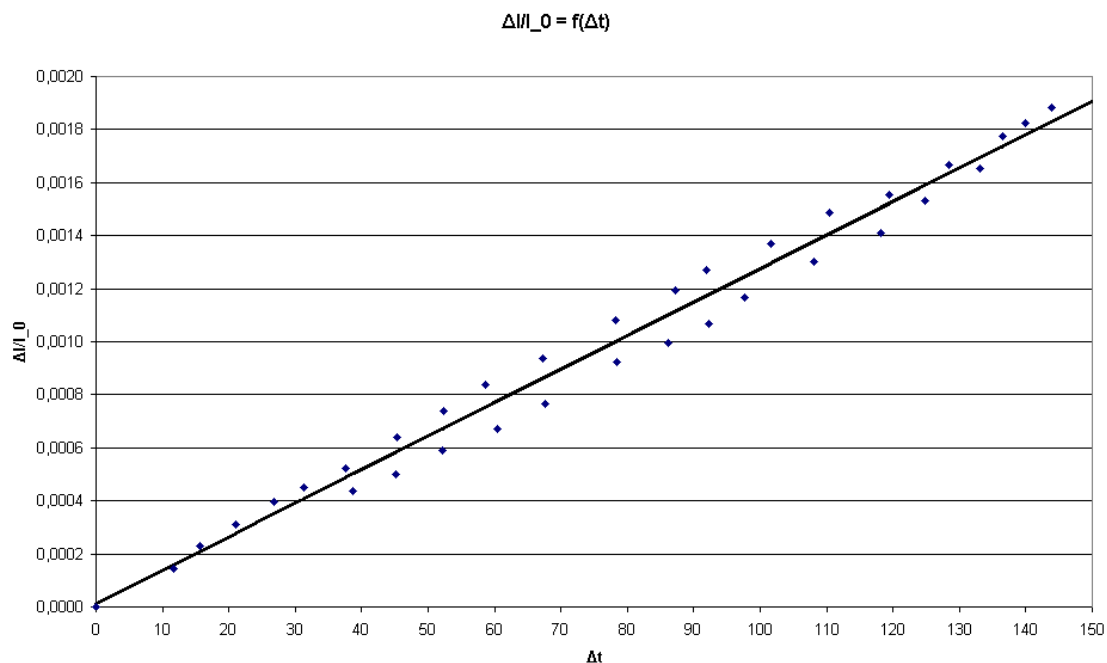
ogrzewanie					
1	2	3	4	5	6
0	0,00	0,000000	0,88	22,261	0,000
40	0,30	0,000145	1,37	34,035	11,774
50	0,47	0,000227	1,53	37,840	15,579
60	0,64	0,000310	1,76	43,277	21,016
70	0,82	0,000397	2,01	49,141	26,880
80	0,93	0,000450	2,20	53,566	31,306
90	1,08	0,000523	2,47	59,808	37,547
100	1,32	0,000639	2,81	67,590	45,330
110	1,53	0,000741	3,12	74,610	52,349
120	1,73	0,000837	3,40	80,888	58,627
130	1,94	0,000939	3,79	89,534	67,274
140	2,23	0,001079	4,29	100,452	78,191
150	2,47	0,001196	4,71	109,478	87,217
160	2,62	0,001268	4,93	114,152	91,892
170	2,83	0,001370	5,39	123,809	101,548
180	3,07	0,001486	5,82	132,692	110,431
190	3,21	0,001554	6,26	141,637	119,376
200	3,44	0,001665	6,71	150,635	128,375
210	3,67	0,001776	7,12	158,701	136,440
220	3,89	0,001883	7,50	166,063	143,803

schładzanie					
1	2	3	4	5	6
80	0,90	0,000436	2,52	60,958	38,697
90	1,03	0,000499	2,80	67,363	45,102
100	1,22	0,000591	3,11	74,385	52,124
110	1,39	0,000673	3,48	82,671	60,410
120	1,58	0,000765	3,81	89,975	67,714
130	1,91	0,000924	4,30	100,669	78,408
140	2,06	0,000997	4,66	108,410	86,149
150	2,21	0,001070	4,95	114,575	92,315
160	2,41	0,001167	5,20	119,840	97,579
170	2,69	0,001302	5,71	130,433	108,172
180	2,91	0,001409	6,20	140,426	118,165
190	3,16	0,001530	6,53	147,054	124,794
200	3,42	0,001655	6,95	155,372	133,111
210	3,77	0,001825	7,30	162,202	139,941

Na poniższym wykresie odłożono doświadczalne punkty, oraz prostą regresji o współczynnikach

$$\alpha[\text{K}^{-1}] = 1,264 \cdot 10^{-5} \quad u(\alpha) = 3,02 \cdot 10^{-7}$$

$$b = 1,06 \cdot 10^{-5} \quad u(b) = 2,6 \cdot 10^{-5}$$



Przyjęto wsp. rozszerzenia  $k = 3$ , niepewność rozszerzona  $U(\alpha) = 9,06 \cdot 10^{-7}$ .

## Wnioski

Otrzymany wynik jest bardzo zbliżony do wartości tablicowej dla stali ( $0,12 \cdot 10^{-4} \text{K}^{-1}$ ).  
 W kwestii metodologii pomiaru można mieć zastrzeżenia do następujących faktów:

1. Podziałka przy pokrętle autotransformatora regulowanego była nieczytelna, zatem można wątpić w to, że wartości napięcia przykładanego do drutu były dokładne.
2. Wskazówka, której położenie regulowało się względem posrebrzanej skali była bardzo gruba w stosunku do nacięć skali, zaś sama skala nie odbijała światła zbyt dobrze, zatem wątpliwa była dokładność ustawień dźwigni, a zatem wskazań czujnika zegarowego.
3. Miernik uniwersalny z nieznanых powodów wykazywał chwilami szybkie zmiany napięcia o amplitudzie ok.  $0,5\text{mV}$ , co może oznaczać wadliwość miernika i/lub termopary.
4. Wartości  $I$  były w trakcie ochładzania mniejsze, zaś  $E$  – większe niż odpowiadające im wartości w trakcie ocieplania. Może być to wynik sprzężenia trzech powyższych faktów.